

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-035568

(43)Date of publication of application : 15.02.1991

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 02-169680

(71)Applicant : HEWLETT PACKARD CO <HP>

(22)Date of filing : 27.06.1990

(72)Inventor : HAITZ ROLAND H

(30)Priority

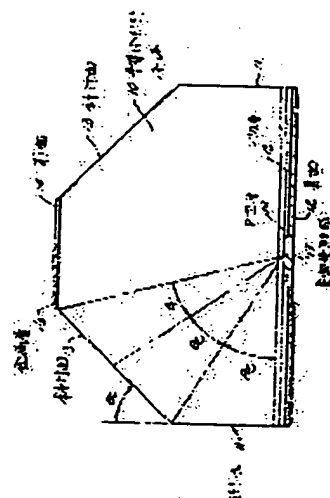
Priority number : 89 372275 Priority date : 27.06.1989 Priority country : US

(54) LIGHT-EMITTING DIODE AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PURPOSE: To improve the efficiency for taking out light from a LED by enabling a transparent semiconductor body between the junction part at a backside and an electrical connection part at a front side to be in the shape of a polygonal base part, where a pyramid whose tip part is cut off is placed.

CONSTITUTION: In a transparent LED that is formed by a semiconductor material body 10 with a flat reverse side 12, a plurality of side surfaces 11 are extended vertically toward the backside 12. A plurality of inclined surfaces 13 with the same number as that of the side surfaces 11 are mounted on the inclined surfaces 13. The tip of the resultant pyramid is cut off by a front surface 14 that is in parallel with the reverse side 11. An electrical contact part is created at the backside 12 and the front side 14, thus discharging light from a pn-junction part in a semiconductor body 10. This kind of LED basically has twelve escape cones and an internally reflected light that did not escape the first time enters an escape cone with a high probability due to reflection, thus improving a take-out efficiency by two fold being larger than that of a conventional LED.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平3-35568

⑬ Int. Cl.³

H 01 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

A

7733-5F

⑭ 公開 平成3年(1991)2月15日

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全7頁)

⑮ 発明の名称 発光ダイオードおよびその製造方法

⑯ 特 願 平2-169680

⑰ 出 願 平2(1990)6月27日

優先権主張 ⑱ 1989年6月27日 ⑲ 米国(US) ⑳ 372,275

⑳ 発 明 者 ローランド・エイチ・アメリカ合衆国カリフォルニア州ポートラ・バレイ アデ
ハイツ イアー・レイン 25
㉑ 出 願 人 ヒューレット・パツカ アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ハノーバ
ード・カンパニー ー・ストリート 3000
㉒ 代 理 人 弁理士 長谷川 次男

明 細 書

1. 発明の名称

発光ダイオードおよびその製造方法

2. 特許請求の範囲

(1) 下記の(a)ないし(c)を設けてなる発光ダイオード:

(a) 裏面の接合部;

(b) 前面の電気接合部;

(c) 前記裏面の接合部と前記前面の電気接合部との間の透明な半導体本体: 前記本体は先端部が切り取られた角端を載設した多角形の基部の形状を有している。

(2) 下記の(a)ないし(d)を設けてなる発光ダイオード:

(a) 下記の(a-1)ないし(a-4)を有する半導体材料本体:

(a-1) 裏面;

(a-2) 前記裏面に平行な前面;

(a-3) 前記裏面に垂直な複数の側面;

(a-4) 前記側面および前記前面と交差す

る、前記側面と同数の複数の斜行面;

(b) 前記前面と電気接合を取る手段;

(c) 前記裏面と電気接合を取る手段;

(d) 前記本体内の前記裏面と前記前面との間にあり光を放出するpn接合。

(3) 下記の(a)ないし(d)のステップを設けてなる発光ダイオードの製造方法:

(a) 複数の発光ダイオードを形成するためのドーピングされた領域を有する半導体ウエファを形成する;

(b) 前記ウエファの前面に互いに平行なV字状の溝の第1の並びをソーイングによって切り込む;

(c) 前記ウエファの前面に互いに平行でかつ前記第1の並びに交差するV字状の溝の並びをソーイングによって切り込む;

(d) 前記ウエファの面に垂直であり前記V字状の溝の底から前記ウエファを貫いて伸びている面に沿って個々のダイオードを互いに分離し、もって斜めになった線を有する発光ダイオードを作

る。

3. 発明の詳細な説明

〔発明の技術分野〕

本発明は、従来の発光ダイオードに比べて大きな光出力を持つ透明な発光ダイオードに関する。

〔従来技術及びその問題点〕

近年、発光ダイオード(LED)は幅広いアプリケーションに用いられる一般的デバイスとなっている。可視領域では、LEDは電子装置とユーザとのコミュニケーションを提供する。赤外線領域ではLEDは通信用に幅広く応用できる。LEDは入力信号を出力からデカップリングするための光学式アイソレータに使用することができる。多くのアプリケーションにおいて、LEDが与えられた電流に対して大量の光を放出することが重要な要求事項となっている。

透明LEDはLEDを形成する半導体中のpn接合部において光を放出する。光はこの接合部からあらゆる方向に放出され、デバイスの透明性のため、その4つの側面および前面から放出される。

の内の下式で与えられる割合fの部分がそのような円錐中に入る：

$$f = \frac{1}{2}(1 - \cos \theta_c) \left[1 - \left(\frac{n_c - n_p}{n_c + n_p} \right)^2 \right]$$

ここで、かっこ内の項は、フレネル反射損の補正である。 n_c が3.3、 n_p が1.5の時、脱出円錐(escape cone)は等方性光源から放出される光の約5.2%を含む。

LEDチップは通常、スクライプおよびブレイク技術によって制作され、その側面は前面および背面と交差する平滑な結晶面となっている直方体となる。

LEDチップは、8つの直交面を持ち、従って8つの脱出円錐を持ちうる。この用な矩形体(rectangular body)では、反射された光線は入射角を変えることはない。言い換えれば、8つの脱出円錐の外側に向けて放出された光線は、何度反射されても常に脱出円錐の外側のままである。このような光線は最終的に吸収されるまでLED内

裏面は不透明であるが、多少の光がそこから反射されて側面および前面から放出される。前面の一部は電気接触が必要なため、掩蔽されることがある。従って、光は4つの側面および前面の一部から放出される。

半導体の屈折率は波長および材料によって、約2.9から4.0の範囲であり、この高い屈折率のために、LEDから光を取り出すことは容易ではない。スネルの法則、 $\sin \theta_c = n_s / n_p$ によれば、 θ_c と等しいかあるいはそれより小さい角度で、チップ面に入射する光線だけがこの面で屈折する。 θ_c よりも大きな角度で入射する光線は皆、内部で全反射される。言い換えれば、チップ内部の、円錐角 $2\theta_c$ の円錐であって、半導体チップ面に垂直な軸を持つ円錐内にある点光源から放出された光だけがLEDから脱出する。

半導体の屈折率 n_c を、3.3、半導体の周囲の透明プラスチックの屈折率 n_p を1.5と仮定すると、内部での全反射の臨界角は、27度である。点光源が等方性であると仮定すると、光束

部で反射し続ける。

側面を向いている4つの脱出円錐は妨害を受けない。後部の接触面を向いている円錐内の光線は、一部は吸収され、また一部は前面に向かって反射される。前面に向いている円錐内の光線は、一部は前面を透過し、また一部は前面の電気接触部によって掩蔽・吸収される。その結果、典型的な透明LEDにおいては光はおよそ5つの円錐だけを通して取り出される。すなわちLEDが発生した光の約25%が実際に放出される。

LEDが透明プラスチックの代わりに空気中で動作する場合は、放出はより悪くなる。なぜなら、内部での全反射の臨界角がわずかに約18度から18度であるからである。このため、光の取り出し効率を最大とするために通常、LEDを透明プラスチックに埋め込んで動作させる。

例えば、チップをへきかい面にそって割る(cleave)代わりに鋸引きして(saw)、不完全な矩形体にするによって、多少粗い側面を得ることができる。光はこの様な荒い面によって、非

脱出 (non-escape) 方向から、脱出円錐内に散乱される。脱出円錐中の光の幾分かは荒い面から内部で反射する。更に、光の方向をランダム化するには多数回の反射を必要とし、吸収のレベルが無視できないものであるため、LED中に長い光経路を設けても、その結果取り出し効率はさほど向上しない。

光の取り出しのための究極的な、つまり最適な構成を取った場合、LEDは半球面を持ち、その中央の小さなpn接合部からの光が光線方向にかかわらずその面に対して直角をなすようにする。このような半球形LEDはすでに制作され、また高効率でもあるが、複雑な加工を要するため非常に高価である。このような従来の半球形LEDの中には、2つのLEDの基部同士を一時的に連結しておき、回転研磨ミルの中で球状になるまで回転させて製作するものがある。あるいは、従来の半球形LEDの中には、LEDチップをダイヤモンド押さえに取り付け、レンズを研磨する場合と同程度の研磨を行なうことによって製作するものがあ

る。このような技術によって製作したLEDのコストは、ほとんどのアプリケーションにとっては大変高価なものになる。

〔発明の目的〕

本発明は、上述した従来技術の問題点を解消し、LEDからの光の取り出し効率を向上させることを目的とする。

〔発明の概要〕

本発明の一実施例によれば、平坦な裏面を持つ半導体材料本体によって形成された透明LEDが提供される。複数の側面が裏面に垂直に伸びている。その上に、側面の数と同数である複数の斜行面 (diagonal face) が乗る。その結果できる角錐の先端は裏面と平行な前面によって切り取られる。

裏面と前面に電気接触部が作られ、半導体本体中のpn接合部から光が放出される。

このようなLEDは、基本的に12個の脱出円錐を持ち、1回目には脱出しなかった内部反射光は、反射によりかなりの確率で脱出円錐内に入る。

これにより、取り出し効率を従来のLEDの2倍にまで向上させることができる。

〔実施例〕

LEDは、砒化ガリウム、燐化ガリウム、GaAs、P、等の半導体材料本体10の形態である。本発明の実施例においては、LEDは裏面12に垂直な4つの側面11を有する矩形の基部を持つ。典型的な実施例においては、この基部は正方形である。この基部の上には、4つの斜行面13と裏面に平行な前面14を持つ、先端が切り取られた角錐が乗る。前面の一部には、LEDへ電気接触を取るためのアルミニウムあるいは金-ゲルマニウム合金などの金属層16がある。

電気接触は、LEDの底部に金-ベリリウム合金などの金属層を通して取られる。裏面接触部17の大部分は、半導体本体から、介在する誘電体のシリカ層18によって絶縁されている。裏面金属層は、シリカ層18の開口を通して、主としてn型材料である半導体本体中のp型材料の層19に電気接触が取られる。その結果得られるpn接

合部から光が放出され、放出された波長に対して透明である半導体材料中を透過する。

取り出し効率の改善を説明するため、光がpn接合部の中心にある点光源から等方的に放出されたと仮定する。夫々の側面が接合部の中心に角度 θ_c で対向している場合、光円錐の半分は側面から脱出する (θ_c より大きな角度の光は内側に反射する)。円錐の他の半分すなわち裏面に向かって放出された光は、誘電体/金属ミラーによって上方に反射され、その最初の方角に応じた角度で側面に到達する。言い換えれば、円錐角 θ_c の下半分の円錐からの光もこの側面を通過し、その結果、円錐全体に相当する光束がもたらされる。

先端が切り取られた角錐のそれぞれの斜行面は、基部の側面に対して、内部での全反射の臨界角 θ_c の2倍程度の角度で傾斜していることが好適である。更に、斜行面の側面から前面へかけての幅は、pn接合部の中心に対して内部での全反射の臨界角 θ_c の2倍程度の角度をなす。接合の中心の仮定の点光源からの $2\theta_c$ の円錐内の光は、斜

行面を通過する。

裏面反射器に向かって放出された光は斜行面に向かって前方に反射するため、その斜行面を通る第2の脱出円錐が存在する。言い換えれば、矩形体の4つの側面の夫々につき、面11および13を通過する光の3つの脱出円錐が存在する。従って、基本的に12個の脱出円錐があり、それらは金属や接触部による妨害からは大きな影響を受けない。

前面の接触部に向かって直接的にあるいは裏面からの反射によって間接的に放出された光は、少なくとも部分的には不透明な電気接触部によって掩蔽される。従って、2つの完全な円錐相当より多少少ない光がLED前面から放出される。

このように、放出された光の約62%を含む12個の脱出円錐と、吸収される光である約10%を含む前面および裏面に中心を持つ2つの円錐がある。放出された光の残りの分である28%は、LED表面に1回か2回反射した後、12個の脱出円錐の内の1個の中に反射によって入って来る

約10%にしか当たらない。

光量を拡大すれば、斜行面を持つLEDの光出力は従来のLEDの光出力の1.5倍程度となる。取り出し効率の50%の向上は大いに重要である。

斜行面の傾斜およびこれらの面が見込む角度は内部での全反射の臨界角の2倍と同程度であるが、pn接合部の面積を増加させるにつれて、これらの値を変化させるのは妥当である。pn接合部がLEDの裏面全体にわたって伸びている場合には、斜行面と側面との間の角度は30度から60度の範囲であれば適当であり、45度で好結果が得られる。

このように、例えばある実施例ではLEDは300 μ m角で全高が200 μ mであってよい。その側面の高さは100 μ mであり、斜行面は側面に対して45度の角度で伸びている。側面から30度から60度の範囲にある斜行面を持つLEDを試験したところ、同様の寸法で斜行面を持たない従来のLEDの光出力の1.5倍から2倍の光

可能性がかなりある。斜行面が製造過程において、わずかに荒く仕上げられて非鏡面である場合、この可能性は高くなり、また荒い面からの多少の光の散乱がある。もし、脱出円錐の外側にある28%の光の内の1/3しか取り出されないとしても、このLEDの取り出し効率は、従来の矩形LEDが約26%であるのに対して、約70%となる。このように、LEDの効率を約2.7倍向上できる可能性がある。

この効率は、実際にはまだ達成されていない。全ての光がpn接合部の中心から放出される訳ではない。発光領域は基本的にはpn接合部の全領域である。それは典型的にはLED断面の大部分にわたっており、高電流密度でのLEDの劣化を防いでいる。

更に、pn接合部の中心は電気接触が取られるシリカ層の開口の上にある。裏面の接触部に向かって放出された光はほとんど全て吸収される。裏面の接触部の上方のpn接合領域から放出された光は吸収されるが、この接触部はpn接合領域の

取り出し効率の向上が見られた。

傾斜した端部を持つLEDを作るには、従来の半導体製造技術をそのまま適用すればよい。LEDは半導体ウエファ上に従来同様多数形成される。半導体表面にごくわずかなスクラッチをスクライプして亀裂誘発部(crack initiator)を発生させる。分割する際は、個々のLEDはスクライプ線から伸びる結晶面にそって割れる。あるいは、ダイヤモンド・ダイシング・ソーを用いてLEDをウエファから切り出す。

傾斜をつけたLEDを製作するには、平行なV字状の溝の列をウエファの一つの面21に、従来のものとはほぼ同様なダイヤモンド・ダイシング・ソーを用いて切り込む。このダイシング・ソーの周囲は、ウエファから分離される隣接するLEDに斜行面13を形成するためのV字状面に仕上げられる。切り込みの深さは所望の斜行面の幅を規定すべく調整される。

平行なV字状溝の並び同士を互いに直交方向にソーイング、つまり引ききした後、溝の底からへ

きかい面に添って割ることによって個々のLEDを互いに分離する。あるいは、溝の底に整列させた従来のダイシング・ソーを用いて、ウエファの厚みの残りの部分を切る2番目の行程を設けてもよい。更にもう1つの方法としては、V字状溝と、ウエファの厚みの残りの部分の平行な切り込みをダイシング・ソーの1行程で作れるように、ダイシング・ソーの周囲を加工しておいてもよい。磨引きの後、磨引きされた表面近傍の光吸収性の高い、磨引きによって損傷された材料を取り除くために、表面をエッチングする。

へきかい面に添って割ることによって実質的に側面のLED側面11が形成されることがわかるであろう。斜行面はダイシング・ソーのダイヤモンド粒子によってわずかに荒れる。側面もまた、LEDが磨引きによって互いに分離されるときにわずかに荒れる。このような面からの光の非鏡面反射は、LEDからの光の取り出し効率をわずかに増大させる。

上述の斜面を持つ角形LEDは、従来の直方体

らによって、六角形LEDの歩留まりは矩形のLEDの歩留まりの2/3となることがわかるであろう。12の面による光取り出し効率の増大は、矩形の実施例における8つの面に比して大きく、従って、歩留まりの減少によるコストの増大を相殺できる。

第4図は高効率な光の取り出しを行なうLEDの別の実施例を横断面にて図示している。このLEDは上述の実施例と同様に、側面211と裏面212を持つ。しかし、斜行面の1つ213aがそれに隣接する側面211となす角度が、反対側の側面213bとそれに隣接する側面との間の角度と異なるという点に相違がある。図示しないが、同様な非対称性が、他の2つの斜行面にも与えられている。この非対称性によって、前面214はLEDの角の内の1つの方向に斜めにシフトしている。

斜行面から離れた領域を照射する射出光円錐による光取り出し効率の劣化を少なくするために、向かい合う面の間の角度の相違はわずか2、3度

のものに比較して、半球状のものの方により近い。

第3図に図示する磨引きパターンによって、半球形の外形に更によく近似させることができる。第3図は個々のLEDを互いに分離するために前面に切られたV字状溝の並びを持つウエファの一部の平面図である。この実施例において図示するように、夫々のLEDは六角形の前面114とLEDの6つの側面111に隣接する6つの斜行面113を持つ。ウエファ上のいくつかのLEDの斜行面113は、ウエファの前面に複数のV字状溝125を互いに60度の角度で磨引きすることによって形成される。

その後、上述のように溝の底からへきかい面に添って割るか、あるいはダイシング・ソーによる切り込みをウエファを貫通して伸ばすことによって、個々のLEDが互いに分離される。後者の方が好ましい。それは、半導体の結晶構造は60度の角度での結晶へきかいに適さず、また隣接するLED間の三角形のかけらをなんの問題もなく取り除くことができるからである。このようなかけ

である。劣化は側面と斜行面の寸法の選定によって避けることができる。しかし、LED内部で内側に反射した光の取出し効率は斜行面からの非対称な反射によって増大される。

このような非対称な傾斜を設けた実施例は、上述の技術によって、単にダイヤモンド・ソーの面を所望の非対称に構成し、それによって非対称のV字状溝を形成することによって簡単に製作することができる。

以上、本発明の原理に従って構成したLEDの限られた実施例を説明および図示したが、当業者には多くの改造および変更の態様は明白であろう。例えば、図示した実施例においてはpn接合部がLEDの裏面に極めて近い。pn接合部が裏面の上にかなりの距離を持ったLEDを採用することが望ましい場合があるかもしれない。そのような実施の態様においては、側面の高さは接合部中央の上方に内部での全反射の臨界角程度の角度をなしていることが好適である。このように、射出円錐内の光の半分は接合面の上方にあり、その光の

いくらかはpn接合面より下の側面から射出する。また、本発明の実施に当って、三角形あるいは八角形LEDなど、他の多角形の形状としてもよいことは明白であろう。従って、本願特許請求の範囲の範囲内で、本発明は特に説明された以外の態様で実施しうるものである。

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明によれば、LEDからの光の取り出し効率を向上させることができる。更に、本発明では、半導体ウェファからのLEDチップの歩止まりを著しく悪化させず、またLEDの製造作業において簡単に実施できる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は第1図および第4図は夫々本発明の実施例の断面図、

第2図は複数のLEDを作るための半導体ウェファのカッティングを説明する断面図、

第3図はカッティング前の半導体ウェファの例を示す図である。

10：半導体材料本体

- 11、111、211：側面
- 12、112、212：裏面
- 13、113、213a、213b：斜行面
- 14、114、214：前面
- 17：裏面接触部
- 18：シリカ層
- 19：p型層

出願人

ヒューレット・パカード・カンパニー

代理人 長谷川 次男

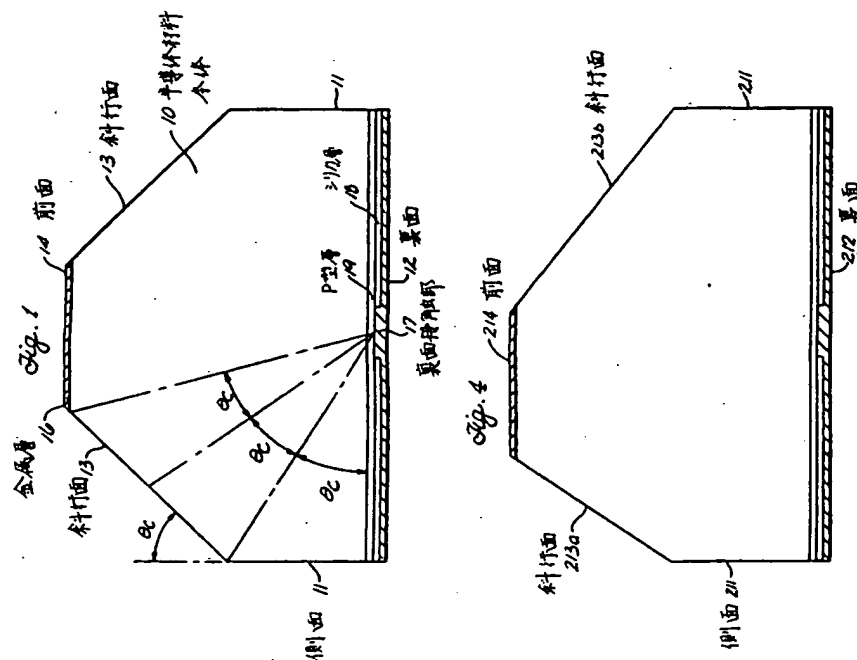


FIG. 2

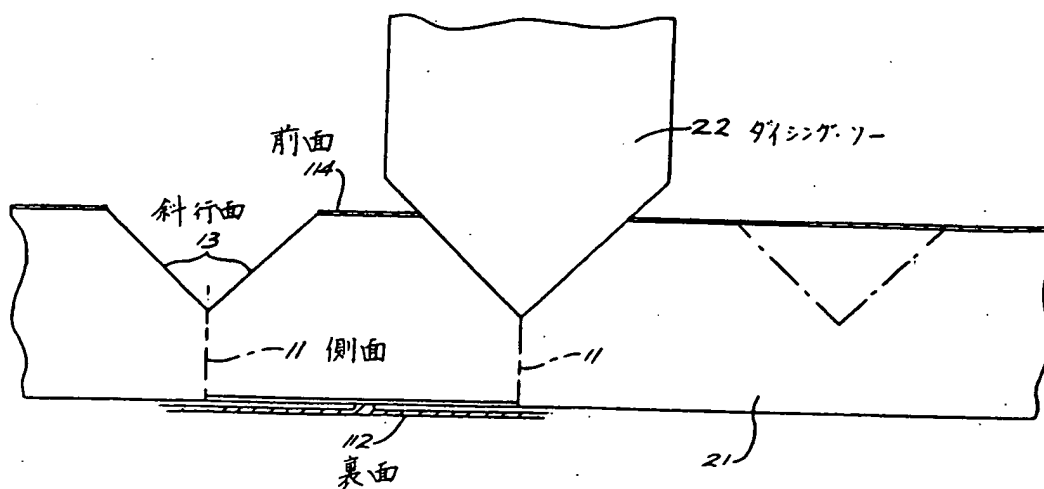
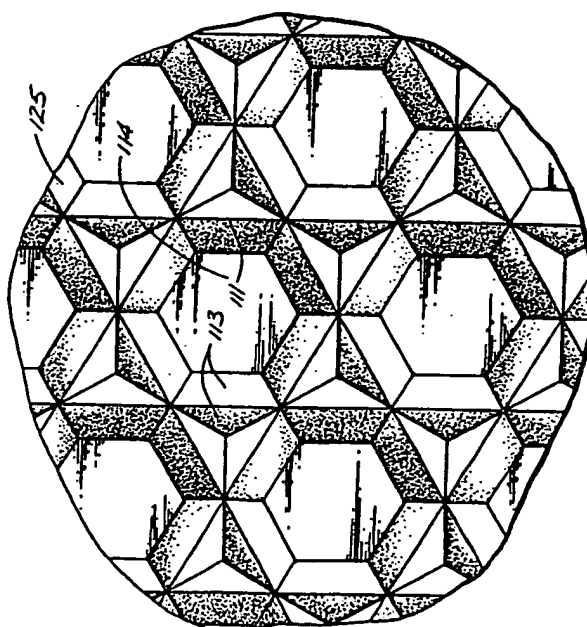


Fig. 3



113 : 側面
114 : 斜行面
125 : 前面
125 : V字状溝